

令和 6 年 6 月 27 日現在

機関番号：37112

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04276

研究課題名（和文）アンサンブル気候予測データに基づく沿岸海洋環境災害の確率論的リスク評価手法の開発

研究課題名（英文）Development of probabilistic risk assessment method for aquatic environmental disasters based on large ensemble climate forecast data

研究代表者

田井 明 (Tai, Akira)

福岡工業大学・社会環境学部・准教授

研究者番号：20585921

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、気候データを入力値とし、密度、溶存酸素などの沿岸海洋において水環境の指標となるデータを出力する水環境予測モデルを機械学習により開発する。開発したモデルを用いて、アンサンブル気候予測データに対して水環境予測を実施することで不確実性を考慮した確率論的環境災害リスク評価を行うことを目的とする。まず、諫早湾の中央に位置する九州農政局観測櫓のB3地点の水質環境の変化に着目し、サポートベクター回帰モデルを構築した。有明海諫早湾を対象に潮流、底層溶存酸素濃度、河川流量、成層度の経年変化およびそれらの関連性を明らかにすることを目的に長期的な観測データの解析を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、気候予測データベースd4PDFに基づく九州地方の降雨及び河川流量の将来変化特性について、有明海・諫早湾の潮汐・潮流の経年変化特性、有明海諫早湾における流動構造の経年変化と水質の関係、河川流量を用いた機械学習による有明海の水質予測などを明らかにし、査読付き論文や学会などで発表を行った。

研究成果の概要（英文）：In this study, we develop a water environment prediction model using machine learning that takes climate data as input and outputs data indicative of coastal marine water environments, such as density and dissolved oxygen. The developed model is used to perform water environment predictions on ensemble climate prediction data, with the aim of conducting probabilistic environmental disaster risk assessments that consider uncertainties. First, we focused on the changes in the water quality environment at point B3 of the observation tower of the Kyushu Regional Agricultural Administration Office, located in the center of Isahaya Bay, and constructed a support vector regression model. We analyzed long-term observation data in the Ariake Sea and Isahaya Bay to clarify the interannual variations and their relationships of tidal currents, bottom layer dissolved oxygen concentration, river flow, and stratification.

研究分野：土木水工学

キーワード：アンサンブル気候予測データ 沿岸海洋環境災害

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、降雨災害が毎年のように生じており甚大な被害が生じている。降雨災害時には、海域に大量の淡水が流入することにより、その浮力作用による密度成層の強化・長期化や、土砂・流木の流入による沿岸海域環境へのダメージも生じる。将来は地球温暖化により豪雨の強度・頻度が上昇することが多くの研究で予測されており、沿岸海域へのインパクトも増大していくことが予測される。本研究では、降雨災害時の沿岸海域への悪影響を「環境災害」と考え、将来の沿岸海洋の環境災害に適応していくために、そのリスク評価を行う。しかし、現在の気候の将来予測結果は不確実性を含んでおり、決定論的なアプローチを採用しても精度に疑問が残る。そこで、本研究における環境災害リスク評価では、アンサンブル気候予測データを用いることで確率論的環境災害リスク評価手法の開発を行うことで、信頼性の高い実用的な手法の開発を目指す。研究対象は、現在も多くの環境災害に見舞われている一方で、諫早干拓以降に多くの水環境データが蓄積されている有明海とする。

2. 研究の目的

以上の背景を踏まえ、本研究では、気候データを入力値とし、密度、溶存酸素などの沿岸海洋において水環境の指標となるデータを出力する水環境予測モデルを機械学習により開発する。開発したモデルを用いて、アンサンブル気候予測データに対して水環境予測を実施することで不確実性を考慮した確率論的環境災害リスク評価を行うことを目的とする。本研究の独自性は、過去と将来の環境災害の確率密度曲線の推定を行い、現在、防災インフラの整備で用いられる「年に一度の規模」のような確率論的リスク評価を実施することである。将来予測の際には、地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース (database for Policy Decision making for Future climate change, 以下、d4PDF) を用いる。d4PDF は産業革命以前を基準として過去実験、2 度上昇実験、4 度上昇実験でそれぞれ大量のアンサンブルデータが整備されており、それらを利用することで、極値統計解析に最適な滑らかな確率密度曲線を描くことが可能になる。その際、物理シミュレーションに全てのデータを入力し、結果を得るのは計算コスト的に非現実的であり、新たな手法が必要と考えた。そこで、本研究では、過去の気象データと水環境データを用いて機械学習を実施し、気象データを入力値とした計算コストは低く信頼性の高い環境災害リスク評価モデルを作成する点が本研究の創造性である。本研究の成果は、対象とする有明海に限らず、将来の沿岸海洋の環境災害リスクを定量的に捉え、具体的な適応策を考えていく際に汎用的に利用可能で対象とする水質指標も海域により任意に選択可能である非常に応用性の広い技術となると考えている。

3. 研究の方法

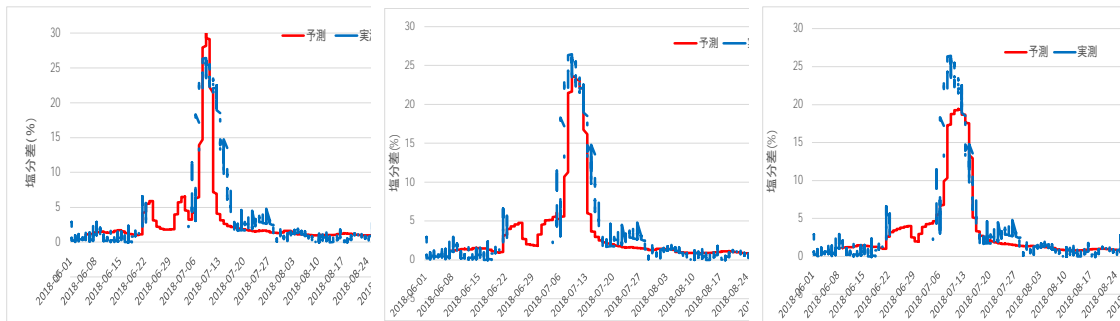
モデル湾である有明海の水環境データならびに気象データの収集整理を実施する。主な対象は各県により実施されている浅海定線調査データ (約 40 年分)、九州農政局による諫早湾の環境モニタリングデータ (約 30 年分)、有明海観測タワー (佐賀大学) で実施されている自動観測槽のデータおよび有明海 4 大学共同観測プロジェクト (研究代表者が参画) で得られたデータ、各県の水産試験場が独自に調査したデータを可能な限り収集する。対象とする水質項目は塩分、水温、密度、濁度、クロロフィル a、溶存酸素である。次に年ごとに極値を求めて地点、水質項目毎のヒストグラムを作成する。

有明海周辺の気象データ (佐賀、熊本、長崎、福岡の地方气象台) を収集する。項目は気温、風速、降水量、日射量および河川流量データである。これらのデータを入力データ、サブテーマ A で収集した水質データを出力データとして機械学習を行う。d4PDF の 2 上昇実験 (3240 年分) の 4 上昇実験 (5400 年分) 年には用いる実イベントを上回る気象イベント (超過気象イベント) が含まれている。そこで、複数の超過気象イベントに対しては水環境数値シミュレーションを実施して水環境データを作成し、その結果も学習データに含める。本研究では機械学習の中でも水質データのようにバラつきが大きいデータ群にも高い識別性能を発揮可能なサポートベクターマシンを用いる。水質・気象データの一期間を学習用データ、そのほかの期間をバリデーションデータとして、精度評価を行う。この時、精度の高い結果を得るために最適なデータ期間を調べるために複数の期間設定 (数日~1 か月程度) に対して機械学習からの出力値の妥当性・安定性の確認を実施する。

4. 研究成果

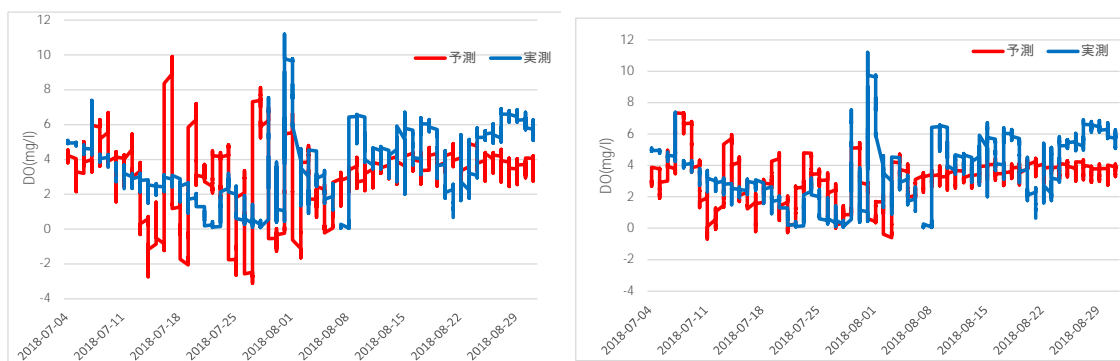
本研究では諫早湾の中央に位置する九州農政局観測槽の B3 地点の水質環境の変化に着目し、サポートベクター回帰 (以降、SVR と略記) によりモデルを構築した。SVR の採用理由は、はずれ値に強くロバストな回帰結果が出やすいからである。底層 DO 濃度、塩分は B3 地点の毎時データを用いた。塩分は塩淡成層の指標として表層と底層の差を解析に用いた。河川流量は、有明海に注ぐ 8 つの 1 級河川の中で、湾奥部に最も影響の大きい筑後川の流量を考慮することとし、瀬ノ下流量観測所の毎時データを使用した。気温データは、諫早湾に最も近い島原アメダスの毎時デ

一夕を用いた。期間は2002年から2018年の夏季成層期を対象とした。河川流量は、毎年ばらつ



Mean squared error = 14.55 Mean squared error = 11.57 Mean squared error = 11.96
 Explained variance score = 0.42 Explained variance score = 0.47 Explained variance score = 0.48
 (a) 1-4 日前の日平均流量 (b) 1-6 日前の日平均流量 (c) 1-8 日前の日平均流量

図1 表層と底層の塩分差の予測結果



Mean squared error = 3.76 Mean squared error = 2.67
 Explained variance score = -0.41 Explained variance score = -0.0
 (a) C=1 (b) C=0.5

図2 底層 DO 濃度の予測結果

きはあるが年に数回大規模な出水が起きており、2012年、2017年、2018年は対象期間中において特に大きなピークが生じている。塩分差は概ね河川流量が大きい時期に大きい傾向にはなっているが、流量が少ない時期に継続して大きくなっている年も多い。気温は、毎年同じように6月から8月かけて高くなっている。底層 DO 濃度は、河川流量と気温が上昇する6月後半から低下を始め、7月下旬から8月上旬にかけて DO 濃度が 3mg/l 程度以下となり貧酸素化が全ての年で生じている。特に2006年、2012年において貧酸素化が長期化している。

得られた16年分のデータを、前半15年分をモデルの訓練データとし、2018年をテストデータとした。ここで、パラメータとして訓練誤差へのペナルティを表すコストパラメータ C は C=1.0 および C=0.5 のモデルを構築し、過学習の影響を検討した。

まず、塩分差を目的変数、河川流量を説明変数としてモデルを構築した。筑後川瀬下観測所の流量が諫早湾に到達するまでのタイムラグを考慮し、対象時間の24時間前から4日前、6日前、8日前の日平均流量を算出し説明変数として使用した。図1にその結果を示す。結果のグラフから筑後川の4から6日前から24時間前までの河川流量が分かれば、24時間後の諫早湾の塩分差が高い精度で予測できることが示された。次に、底層 DO 濃度を目的変数、対象時間の24時間前から30日前までの流量・気温を説明変数として予測した結果を図2に示す。その結果、短期的な変動の再現度は低い一方で、河川流量と気温のみで7月下旬から8月上旬にかけて低下する傾向が再現され、C=1 に比べて C=0.5 の方が精度の高いモデルとなることが分かった。

機械学習を用いて有明海諫早湾の水質予測を試みた。その結果、塩分差は良好に再現するモデルが構築することが出来た。DO 濃度に関しては河川流量と気温のみで夏季の特徴的な変動傾向を再現することが可能であることが分かった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Akira Tai; Simon Neill; Matthew Lewis; Hideo Oshikawa	4. 巻 39
2. 論文標題 Analysis of Resuspension Phenomenon Using Coupled Wave, Current and Sediment Transport Model in the Ariake Sea	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 39th IAHR World Congress	6. 最初と最後の頁 5479-5484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3850/IAHR-39WC252171192022172	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 田井 明	4. 巻 77
2. 論文標題 湾長の減少による有明海の潮汐増幅率の時空間変化メカニズム	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_361-I_366
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_361	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 鷗崎 賢一, 矢菅 晶太, 田井 明, 齋田 倫範, 池畑 義人	4. 巻 77
2. 論文標題 準三次元広域土砂動態計算にもとづいた河川出水に伴う干潟の泥質化機構の解明	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B2(海岸工学)	6. 最初と最後の頁 I_493-I_498
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/kaigan.77.2_I_493	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 田井 明, 於久 達哉, 鍋島 孝顕	4. 巻 77
2. 論文標題 気候予測データベースd4PDFに基づく九州地方の降雨及び河川流量の将来変化特性について	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 土木学会論文集B1 (水工学)	6. 最初と最後の頁 I_31-I_36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2208/jscejhe.77.2_I_31	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 中野 咲希 ・ 田井 明
2. 発表標題 河川流量を用いた機械学習による有明海の水質予測
3. 学会等名 令和3年度土木学会西部支部研究発表会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	齋田 倫範 (Saita Tomonori) (80432863)	鹿児島大学・理工学域工学系・准教授 (17701)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関		
英国	Bangor University		